不同室內光環境對特定景觀植物光合作用速率及生長表現之差別效應

何佳勳、楊純明*、蕭巧玲
行政院農業委員會農業試驗所作物組

摘要

本文研究由市面販售之常見室內景觀植物中依耐陰特性選購 12 種為試材，首先依照淨二氧化碳交換速率(視同光合作用速率)評估對室內光環境之需求，篩選出較高正值淨二氧化碳交換速率之 6 種植物。繼而在室內條件下給予此 6 種植物不同的額外光照處理，以探討利用人工光源提高室內光照強度是否具有促進其光合作用及生長表現之作用，達到降低室內二氧化碳濃度類似淨化室內空氣品質之效果。本試驗設於行政院農業委員會農業試驗所霧峰總所，12 種景觀植物在低光照(28.6±1.2 μmol m^{-2} s^{-1})、高二氧化碳濃度(504.4±52.1 ppm)的室內環境下，經過 5 wk 後發現以「巴黎美人粗勒草」(*Aglaonema* spp. var. 'Pattaya Beauty')、「黃金葛」(*Epipremnum aureum*)、「綠孔雀粗勒草」(*Aglaonema* spp. var.'Green peacock')、「極光粗肋草」(*Aglaonema* spp. var. 'Siam Aurora')、「星光燦爛黛粉葉」(*Dieffenbachia* spp. var. 'Sparkles') 及「白鶴芋」(*Spathiphyllum floribundum*)等 6 種植物淨二氧化碳交換速率較高，乃篩選出進行後續室內額外光照處理試驗。後續試驗以室內螢光燈管之光照強度(6.1±1.0 μmol m^{-2} s^{-1})為對照組(CK)，外加不同波段人工光源，分別為 23 W 白光省電燈泡(ELB-W_{23W}；27.7±1.2 μmol m^{-2} s^{-1})、23 W 黃光省電燈泡(ELB-Y_{23W}；23.7±1.3 μmol m^{-2} s^{-1})、10 W 白光發光二極體(light-emitting diode; LED)燈泡(LED-W_{10W}; 27.8±0.7 μmol m^{-2} s^{-1})、或 10 W 黃光 LED 燈泡(LED-Y_{10W}; 31.3±2.7 μmol m^{-2} s^{-1})，合計 5 種光環境處理。試驗結果顯示，LED-W_{10W} 會促進「綠孔雀粗勒草」、「巴黎美人粗勒草」及「黃金葛」之生長速率， ELB-W_{23W} 及 LED-W_{10W} 可加速「星光燦爛黛粉葉」生長，LED-W_{10W} 及 LED-Y_{10W} 對「極光粗肋草」植株生長有促進效果， ELB-W_{23W} 及 LED-Y_{10W} 則可加快「白鶴芋」生長。不同額外光照處理除了可促進上述不同景觀植物生長速率外，隨著光照處理週數延長，淨二氧化碳交換速率呈現明顯增加，例如第 5 週之淨二氧化碳交換速率較第 2 週者增加 1.5–3 倍。綜合試驗結果，可歸納出特定景觀植物對於光強度及光波段的需求與反應有所不同，因此在選購室內景觀植物時，宜同時考量室內光照質量及景觀植物特性來配合其他室內環境條件。另可增加特定波段的人工光源來提高光照強度，以促使特定景觀植物發揮其光合作用效果，藉由消耗較多二氧化碳而達到類似淨化室內空氣品質之目的。

關鍵詞：景觀植物、室內光環境、淨二氧化碳交換速率、光合作用速率、人工光源、植株生長。

Differential Effects on Photosynthetic Rate and Plant Growth of Ornamental Plants Grown under Different Indoor Light Environments

Chia-Hsun Ho, Chwen-Ming Yang* and Chiao-Ling Hsiao

Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng District, Taichung City 41362, Taiwan ROC

* 通信作者, cmyang@tari.gov.tw
投稿日期：2014 年 7 月 27 日
接受日期：2014 年 9 月 6 日
作物、環境與生物資訊 11:145-157 (2014)
Crop, Environment & Bioinformatics 11:145-157 (2014)
189 Chung-Cheng Rd., Wufeng, Taichung 41362, Taiwan ROC

ABSTRACT

Twelve ornamental plant species suitable for indoor growth conditions were selected to study their ability to tolerate low light levels. The tolerance to indoor light environment for these plants were assessed and compared by the net exchange rate of carbon dioxide (NERC). Six plant species with higher NERC were chosen and then grown indoors providing with additional lighting from various artificial light sources to study whether increase of light intensity would promote their NERC and growth performance so as to reduce indoor carbon dioxide concentration for a better indoor air quality. The experiments were carried out at Taiwan Agricultural Research Institute and the selected uniform potted plants were grown under conditions of low light (28.6±1.2 μmol m^{-2} s^{-1}) and high carbon dioxide levels (504.4±52.1 ppm). After 5 wk of growth, plants of *Aglaonema* spp. var. 'Pattaya Beauty', *Epipremnum aureum*, *Aglaonema* spp. var.'Green peacock', *Aglaonema* spp. var. 'Siam Aurora', *Dieffenbachia* spp. var. 'Sparkles', and *Spathiphyllum floribundum* were found to have a higher NERC than others. These plants were then provided with additional artificial light sources and were compared with plants grown under indoor fluorescence lamps (6.1±1.0 μmol m^{-2} s^{-1}) as control check. The light intensity was increase to 27.7±1.2 μmol m^{-2} s^{-1} with 23 W white light energy-saving light bulb (ELB-W_{23W}), to 23.7±1.3 μmol m^{-2} s^{-1} with 23 W yellow light energy-saving light bulb (ELB-Y_{23W}), to 27.8±0.7 μmol m^{-2} s^{-1} with 10 W white light LED (light-emitting diode) (LED-W_{10W}), or to 31.3±2.7 μmol m^{-2} s^{-1} with 10 W yellow light LED (LED-Y_{10W}). Results showed that plant growth rates of *Aglaonema* spp. var. 'Green peacock', *Aglaonema* spp. var. 'Pattaya beauty', and *Epipremnum aureum* were stimulated by additional lighting with LED-W_{10W}, while plant growth of *Dieffenbachia* spp. var. 'Sparkles' was enhanced by both ELB-W_{23W} and LED-W_{10W}. Plants of *Aglaonema* spp. var. 'Siam Aurora' were motivated by lighting with LED-W_{10W} and LED-Y_{10W}, yet plants of *Spathiphyllum floribundum* were most provoked by ELB-W_{23W} and LED-Y_{10W}. Along with the promotion of growth rate by the increase of light intensity, NFRC was also gradually improved by the extra light. At 5 wk after start of lighting treatments, NFRC increased to 1.5–3 folds than that at 2 wk. As a result, this study demonstrated that varietal differences in requirement and response to light intensity and quality existed in different ornamental plant species. Plant characteristics and indoor light environment are factors needed to be taken into account with other environmental conditions when selecting ornamental plants to grow indoors. To further improve plant growth as well as to raise NERC for purpose of consuming indoor carbon dioxide, increase of light intensity with artificial light sources is a proper option for consideration.

Key words: Ornamental plants, Indoor light environment, Net exchange rate of carbon dioxide, Photosynthetic rate, Artificial light source, Plant growth.

前言

隨著人類文明的進步與發展，人們開始重視身體健康及工作環境品質，力求生活保健和生命安全。根據文獻研究發現，若長時間置身於密閉性較高的建築物或空間內，依照各人體質可能會出現頭痛、眼、鼻或喉嚨的過敏、嗜睡、無法專注、容易疲勞及對氣味敏感等種種生理不適症狀，統稱為「病態建築症候群 (sick building syndrome; SBS)」(Kostiainen 1995, Jagjit 1996, Jones 1999, Shinohara *et al.* 2004)。

揮發性有機物 (volatile organic chemicals; VOCs)為一系列化學物質所產生的揮發性氣體，其為引起生理不適症狀的源頭之一，已知包括甲醛(formaldehyde)、甲苯(toluene)等皆為室內常見的揮發性有機物。這些 VOCs 的釋放來源相當廣泛，包含家具、影印機、窗簾帷幕、指甲油、清潔劑、黏著劑、塗料或建築材料等，而一般新建物或新房的 VOCs 濃度普遍高於舊房舍 (Spengler and Sexton 1983, Gordon *et al.* 1999, Wolkoff 2003, Zhang *et al.* 2009)。

另外，現行大氣中二氧化碳濃度約在 350-420 ppm 之間波動，而室內二氧化碳濃度範圍可能高達 350-2,500 ppm 之間，其濃

度高低與建築物的通風性及室內人數、物品有密切關係，一般二氧化碳濃度會隨著室內人數及所待時間增長而逐漸上升。文獻資料亦顯示，二氧化碳濃度與 SBS 症狀具有顯著正相關，當二氧化碳濃度過高時，則容易與 SBS 症狀結合產生，如頭痛、嗜睡、反射減退、倦怠等現象，進而降低工作效率 (Seppänen *et al.* 1999)，長期以往將不利個人身體。為改善及維護室內空氣品質(indoor air quality; IAQ)，且維護國民健康及生活環境，行政院環境保護署特訂定室內空氣汙染物濃度建議值，如二氧化碳濃度訂定 8 小時平均值為 1,000 ppm，甲醛則訂定 1 小時平均值為 0.08 ppm，而總揮發性有機化合物(total volatile organic chemicals; TVOC; 包含12種揮發性有機物之總和)1小時平均值則為 0.56 ppm (EPA Taiwan 2012)。

研究另發現，可透過三種方式來提升室內空氣品質，如控制污染源、利用通氣系統來排放汙染氣體及淨化空氣污染物等方式(EPA USA 2007)。綠色植物可藉由光合作用過程，由氣孔吸收二氧化碳來固定碳水化合物並提供生長所需的能量來源，因此綠色植物在適當的光環境下可進行光合作用，以減少室內二氧化碳濃度/含量。文獻研究顯示，植物亦可以經由葉片吸收空氣中的揮發性有機物，其除了利用氣孔與外界進行氣體交換之外，亦可經由表皮進入植物體內，VOCs 則可藉由植物體內的生理機制而代謝，而植物移除 VOCs 的效能與植物種類、時間、光強度及污染物種類等有相關 (Giese *et al.* 1994, Jen *et al.* 1995, Korte *et al.* 2000, Yoo *et al.* 2006)。

苯與甲苯被植物吸收後，主要分布於葉綠體與細胞質中，在進入卡爾文循環(Calvin cycle)後其芳香環被水解成有機酸及胺基酸，而光照環境下其代謝效能明顯高於黑暗環境(Ugrekhelidze *et al.* 1997, Yoo *et al.* 2006)。植物經由葉片氣孔吸收甲醛後，可經由植物體內的卡爾文循環酵素氧化作用，將甲醛轉化為胺基酸、醣類及有機酸，並由韌皮部運移至根部或種子貯存。植物約可清除 60–90%的甲醛，而光照環境下代謝甲醛的能力是黑暗環境中的 5 倍 (Schmitz *et al.* 2000, Hanson and Roje 2001)。因此，如何充分利用人工光源以促進植物對甲醛或其他揮發性有機物的吸收，不僅值得深入研究探討，更可加以應用於改善室內空氣品質。

植物種類(或品種)及植物形態(如葉齡、葉表形態、氣孔分佈及葉內擴散阻力等)等均會影響植物吸收毒害氣體的效能，而一般較年輕葉片的吸收速率高於老葉(Elkiey and Ormrod 1980, Kull and Moldau 1994, Collins *et al.* 2000, Korte *et al.* 2000)。此外，外界環境因子亦會影響植物吸收污染物/污染氣體的能力，如光強度、二氧化碳、溫度及風速等(Hill 1971, Leuning *et al.* 1979, Hove *et al.* 1990)。研究報告亦指出，根群與栽培介質中的微生物可能也參與淨化室內空氣品質的一環，如去除植物葉片時，含有根系的栽培介質可降低 VOCs 的濃度達 45%以上，而不含根系的栽培介質，其減少 VOCs 的效能為 20%。又白晝期間氣生植物(aerial plant)與根圈移除 VOCs 效能比約 1:1，而夜晚的移除效能比則為 1:11 (Wood *et al.* 2002, Orwell *et al.* 2006, Kim *et al.* 2008)。由上述研究可知，植株、根系與土壤微生物為一個調節性的生物系統，可有效淨化室內空氣品質，降低室內污染氣體濃度，也是進行試驗分析時應當注意與分別的重點。

本項試驗研究第一階段旨在評估所選用市面上常見室內景觀植物之淨二氧化碳交換速率(視同光合作用速率)高低，並瞭解其對光環境之需求及對應光合作用表現。第二階段則由在本試驗環境條件下將具有高二氧化碳交換速率潛能之室內景觀植物，進行額外人工光源之光照處理，以探討提高室內光照強度是否會促進其淨二氧化碳交換速率/光合作用速率及生長表現，期由增加消耗室內二氧化碳來達到類似淨化室內空氣品質之目的。

材料與方法

本項試驗設於行政院農業委員會農業試驗所(臺中市霧峰區總所)選用之室內情境進行，將自臺中市大里區國光假日花市選購之 12 種常見室內景觀植物作為參試材料(Fig. 1)，每一種植物皆分別挑選 4 盆植株外觀與生長勢相近者。參試盆栽植物群組先由室外移入室內環境馴化 96 h 後，再開始進行試驗。

參試室內景觀植物種類

選購之 12 種常見室內景觀植物包括: 天南星科黛粉葉屬之「白玉黛粉葉」(*Dieffenbachia* spp. var. ‘Camilla’)，英名 dumbcane、dumbplant 等，原產於中南美洲哥倫比亞、哥斯大黎加一帶；天南星科粗肋草屬之「巴黎美人粗肋草」(*Aglaonema* spp. var. ‘Pattaya beauty’)，英名 Pattaya beauty、aglaonema 等，原產於東南亞(如馬來西亞及菲律賓)；天南星科麒麟葉屬之「黃金葛」(*Epipremnum aureum*)，英名 Pothos、Devil's ivy 等，原產於所羅門群島；菊科千里光屬之「金玉菊(白金菊)」(*Senecio macroglossus*)，英名 Variegated Wax Vine，原產於非洲南部；木棉科馬拉巴栗屬之「馬拉巴栗(發財樹)」(*Pachira macrocarpa*)，英名 Malabar chestnut，原產於墨西哥、中南美洲委內瑞拉、圭亞那、西印度群島等熱帶地方；人為雜交種「麗格海棠」(*Begonia* × *Begonias*)，英名 Rieger begonia, 係人為將球根海棠(*Begonia* spp. var. ‘tuberous begonia’)與原生秋海棠(*Begonia* spp.)雜交培育的品系；龍舌蘭科虎斑木屬之「密葉竹蕉(阿波羅千年木)」(*Dracaena deremensis* var. ‘Compacta’)，英名 Calypso queen，原產於地中海及日本；天南星科粗肋草屬之「綠孔雀粗肋草」(*Aglaonema* spp. var. ‘Green peacock’)；天南星科粗肋草屬之「極光粗肋草」(*Aglaonema* spp. var. ‘Siam Aurora’)；天南星科黛粉葉屬之「星光燦爛黛粉葉」(*Dieffenbachia* spp. var. ‘Sparkles’)；天南星科粗肋草屬之「如意粗肋草」(*Aglaonema* spp. var. ‘Pride Of Sumatra’)；天南星科白鶴芋屬之「白鶴芋」(*Spathiphyllum floribundum*)，英名 Peace lily，原生於熱帶南美洲及哥倫比亞一帶。

試驗規劃與光照處理

第一階段試驗係於完成參試植物群馴化後，各景觀植物群組每間隔 7 d (1 wk)即量測其等最上位完全展開葉片之淨二氧化碳交換速率(視為光合作用速率，或稱淨光合成速率)，量測時間介於上午 10:30 至 12:00 之間，連續 5 wk，以從 12 種景觀植物中篩選出 6 種具有較高淨二氧化碳交換速率者。白晝期間室內光環境為螢光燈管(06:00-18:00)加上散射太陽光，植株上方光強度為 28.6±1.2 $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$，夜間則無人工光源之光照而黑暗。此外，室內溫度變動於 26.6±0.4℃之間，室內相對濕度範圍為 76.8±4.8%，室內二氧化碳濃度波動則為 504.4±52.1 ppm。葉片淨二氧化碳交換速率之量測，係以攜帶式光合作用測定系統 (portable photosynthesis system; LI-6400, LI-COR Inc., Lincoln, Nebraska, USA)為之。每次量測 120 s，取第 90、100 及 110 s 測值之平均值，再取 4 株植物均值為該植物代表值，由連續 5 wk 測值之變化趨勢，以瞭解參試植物置於本試驗室內環境下光合作用速率之改變。本試驗乃在相同二氧化碳情境下進行12種參試景觀植物之光合作用速率量測，故植物間的光合作用速率比較為相對值，且室內二氧化碳濃度變異範圍±10%。而在此較高室內二氧化碳濃度、低光照情境下，參試景觀植物之氣孔導度值偏低，其變化區間不如光合作用速率，因此本試驗僅觀察光合作用速率作為篩選標準。經過 5 wk 後依照淨二氧化碳交換速率高低選出者，被認為係具有相對較佳光合作用速率潛力之植物，繼而進行給予不同額外室內光照處理之第二階段試驗。

Fig 1. Twelve selected ornamental plants for the study. A: *Dieffenbachia* spp. var. 'Camilla'; B: *Aglaonema* spp. var. 'Pattaya beauty'; C: *Epipremnum aureum*; D: *Senecio macroglossus*; E: *Pachira macrocarpa*; F: *Begonia×hiemalis*; G: *Dracaena deremensis* var. 'Compacta'; H: *Aglaonema* spp. var. 'Green peacock'; I: *Aglaonema* spp. var. 'Siam Aurora'; J: *Dieffenbachia* spp. var. 'Sparkles'; K: *Aglaonema* spp. var. 'Pride Of Sumatra'; L: *Spathiphyllum floribundum*.

第二階段試驗除了光環境之外，其餘室內環境條件皆同第一階段試驗。此 6 種景觀植物繼續於室內每日白晝期間施以不同光波段之人工光源額外光照處理，惟阻隔散射太陽光進入室內，因此改以僅有室內螢光燈管光照為對照組，光強度 6.1±1.0 μmol m^{-2} s^{-1}。額外光照處理，分別為 23W 白光省電燈泡($ELB-W_{23W}$，Philips Helix 6,500K 晝光色；光強度 27.7±1.2 μmol m^{-2} s^{-1})、23W 黃光省電燈泡($ELB-Y_{23W}$，Philips Helix 2,700K 燈泡色；光強度 23.7±1.3 μmol m^{-2} s^{-1})、10 W 發光二極體(light-emitting diode; LED)白光燈泡($LED-W_{10W}$；27.8±0.7 μmol m^{-2} s^{-1})、或 10 W LED 黃光燈泡($LED-Y_{10W}$；31.3±2.7 μmol m^{-2} s^{-1})等人工光源，合計 5 種光環境處理，本試驗僅探討不同光源/光環境對參試景觀植物光合作用速率之表現(未區分光源的質與量差異)。每個燈泡與植株距離固定為 0.25 m，光照處理時間為 06:00–18:00，每日計 12 h。在額外光照處理後連續 5 wk 處理期間，分別量測最上位完全展開葉片之淨二氧化碳交換速率，方法如前述。各人工光源之輻射光譜，係以 GER-2600 型可攜式輻射光譜儀(SVC Co., New York, USA)量測，5 種光環境測得之光譜圖繪製如 Fig. 2。植株株高以直尺量測，係指土表至植株最高頂點之間距離。而生長速率(growth rate)則以前後時間株高差異之百分比估算，公式為:

Growth rate = [(處理第 5 週株高 – 處理前(第 0 週)株高)/處理第 5 週株高] ×100%。

試驗統計分析

試驗資料分析以 SAS 統計軟體(version 9.1)進行變方分析(ANOVA; analysis of variance)檢定，並使用最小顯著性差異測驗(least significance difference; LSD)以判定處理間的差異是否達到顯著性。統計繪圖，則使用 SPSS 公司之 SigmaPlot 軟體(version 10.0)。

結果與討論

參試12種室內景觀植物於本試驗設置之一般室內光環境下分別量測連續 5 wk 之淨二氧化碳交換速率(視為淨光合作用速率，以下採用)，整理如 Table 1。如表所示，在室內螢光燈管加上散射太陽光之白晝(量測時間介於上午 10:30 至中午 12:00)，當光強度為 28.6±1.2 μmol m^{-2} s^{-1}時，參試植物處理第 1 週之淨光合作用速率大多為負值。由此顯示，這些原本生長於室外露地之耐陰性參試植物於此時仍處於新環境適應期，呈現不穩定的淨光合作用速率狀態，負值的淨光合作用速率隱示呼吸消耗高於光合成。經過 2 wk 後，參試植物之光合作用速率漸趨於穩定，淨光合作用速率轉為正值者逐漸增加。至 5 wk 後，有半數植物的淨光合作用速率平均值轉為正值，包括「巴黎美人粗勒草」(*Aglaonema* spp. var. ‘Pattaya beauty’)、「黃金葛」(*Epipremnum aureum*)、「綠孔雀粗勒草」(*Aglaonema* spp. var. ‘Green peacock’)、「極光粗肋草」(*Aglaonema* spp. var. ‘Siam Aurora’)、「星光燦爛黛粉葉」(*Dieffenbachia* spp. var. ‘Sparkles’)及「白鶴芋」(*Spathiphyllum floribundum*)等 6 種景觀植物。換言之，此 6 種景觀植物置於本試驗一般室內低光、高二氧化碳環境下，具有較佳淨光合作用速率潛能，能夠適應低光照的室內情境，因此乃篩選進行後續額外人工光源之光照試驗。本試驗於先前預備試驗分別進行第一片完全展開葉及以下之 2 片葉片光合作用速率量測，其與第一片完全展開葉之淨光合作用速率值無明顯差異(資料未列出)。另 Lieth and Pasian (1990)研究資料亦顯示，玫瑰葉片之葉齡於 10 至 30 天期間，其淨光合作用速率值變異範圍小於 30%。因此，本試驗各植物之 4 株重複植株之間近於相似光合作用速率等級，並以其均值為代表值。

據此結果可推知，不同景觀植物對於光環境各有不等需求，當置於特定光環境(如室

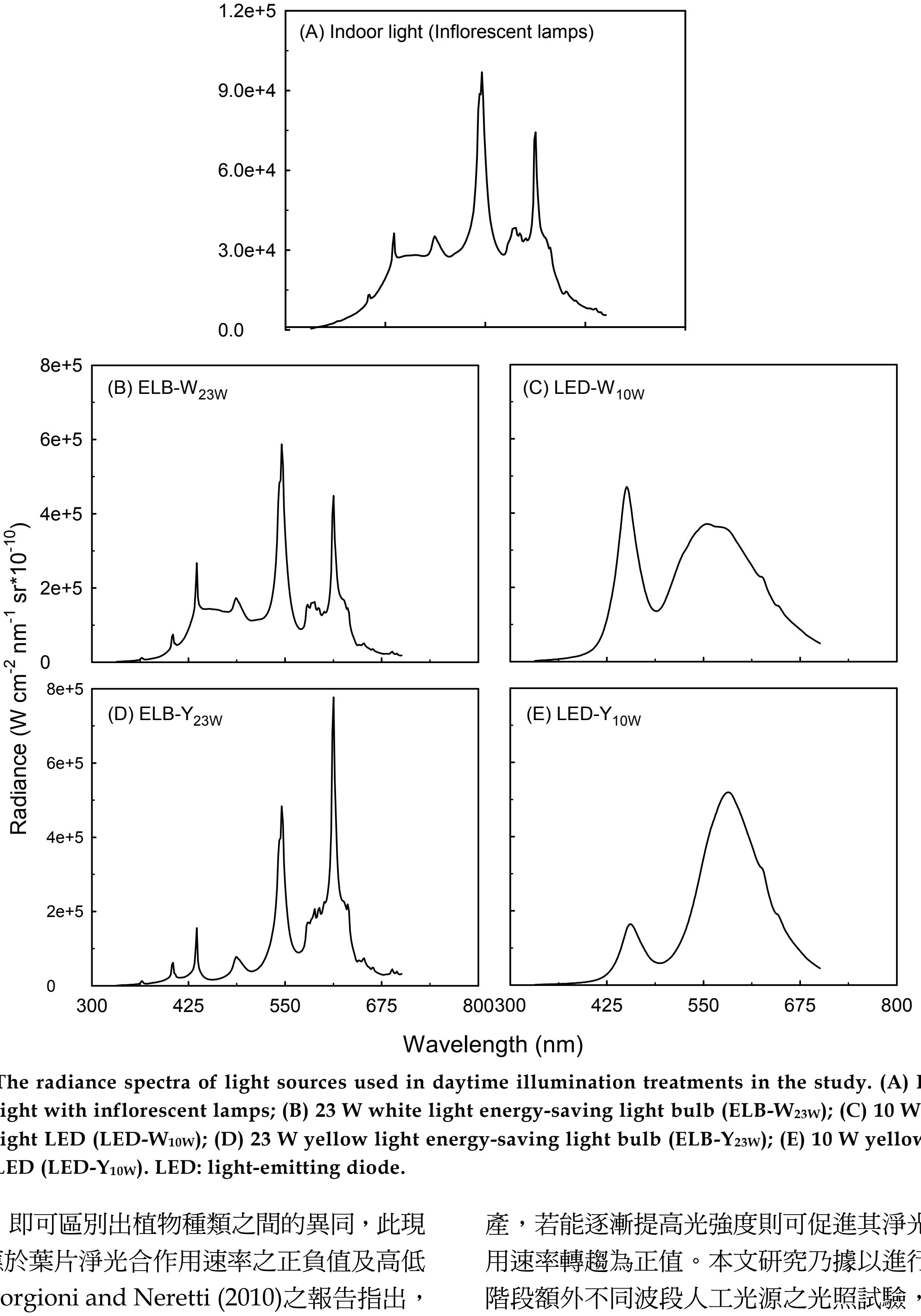

Fig 2. The radiance spectra of light sources used in daytime illumination treatments in the study. (A) Indoor light with inflorescent lamps; (B) 23 W white light energy-saving light bulb (ELB-W_{23W}); (C) 10 W white light LED (LED-W_{10W}); (D) 23 W yellow light energy-saving light bulb (ELB-Y_{23W}); (E) 10 W yellow light LED (LED-Y_{10W}). LED: light-emitting diode.

內)下，即可區別出植物種類之間的異同，此現象反應於葉片淨光合作用速率之正負值及高低值。Giorgioni and Neretti (2010)之報告指出，「白鶴芋」、「白玉黛粉葉」及「銀后粗勒草」(*Aglaonema* spp. var. 'Silver Queen')等景觀植物在低光環境(9 µmol m^{-2} s^{-1})下，其淨光合作用速率為負值，亦即呼吸作用消耗大於光合作用生產，若能逐漸提高光強度則可促進其淨光合作用速率轉趨為正值。本文研究乃據以進行第二階段額外不同波段人工光源之光照試驗，持續觀察所篩選之 6 種植物是否具有類似表現，俾以未來利用於改善室內空氣品質可能性，亦即藉由提高光照強度對光合作用速率的促進達到近似於降低消耗室內二氧化碳效果。

Table 1. Changes of photosynthesis rates in twelve selected ornamental plants grown under indoor light condition of Experiment I, with light intensity of 28.6±1.2 μmol $m^{-2} s^{-1}$, in five weeks.

Plant species	Photosynthetic rate (μmol CO_2 $m^{-2} s^{-1}$)					Mean±SE
	1	2	3	4	5	
Dieffenbachia spp. var. 'Camilla'	- 0.336±0.177	0.366±0.379	0.208±0.594	- 0.613±0.253	- 0.436±0.154	- 0.118±0.202[z]
Aglaonema spp. var. 'Pattaya beauty'	- 0.047±0.329	- 0.165±0.139	0.656±0.104	- 0.414±0.175	0.507±0.116	0.146±0.131
Epipremnum aureum	0.120±0.165	0.024±0.145	0.833±0.259	- 0.382±0.117	0.195±0.017	0.168±0.134
Senecio macroglossus	- 0.840±0.247	- 0.415±0.068	- 0.651±0.209	- 0.719±0.169	- 0.813±0.030	- 0.650±0.073
Pachira macrocarpa	- 3.556±0.432	- 3.627±0.382	- 4.376±0.895	- 7.618±2.735	- 4.927±0.463	- 5.137±0.764
Begonia×hiemalis	- 3.582±1.225	- 5.974±0.690	- 3.803±0.254	- 8.419±3.081	- 4.900±0.240	- 5.774±0.764
Dracaena deremensis var. 'Compacta'	0.061±0.137	- 0.422±0.258	- 0.056±0.125	- 0.280±0.168	- 0.023±0.237	- 0.195±0.101
Aglaonema spp. var. 'Green peacock'	- 0.245±0.313	0.122±0.287	0.212±0.117	- 0.023±0.020	- 0.090±0.362	0.055±0.111
Aglaonema spp. var. 'Siam Aurora'	- 0.462±0.475	- 0.277±0.136	0.242±0.194	0.019±0.013	0.065±0.472	0.012±0.128
Dieffenbachia spp. var. 'Sparkle'	- 0.425±0.472	0.308±0.309	- 0.115±0.171	- 0.125±0.097	0.013±0.304	0.020±0.116
Aglaonema spp. var. 'Pride Of Sumatra'	- 1.989±0.182	- 0.895±0.284	- 0.150±0.166	- 0.230±0.160	0.494±0.180	- 0.195±0.156
Spathiphyllum floribundum	- 0.335±0.408	- 0.036±0.214	0.400±0.104	0.115±0.013	0.406±0.036	0.221±0.073
$LSD_{0.05}$						0.968

[z] Mean value of the photosynthesis rate during 2 weeks to 5 weeks. Error bar is the standard deviation (n = 4).

在第二階段額外不同人工光源之光照試驗中，係以省電燈泡及 LED 燈泡等人工光源增加原有室內螢光燈管(CK)之光照強度，據以觀察前述第一階段篩選出之 6 種景觀植物之淨二氧化碳固定速率及植株生長表現。經比較額外光照處理前後之植株株高，可瞭解不同光環境下參試 6 種特定景觀植物之生長差異(Table 2)。由不同人工光源處理 5 wk 後之株高增加百分比(視同生長速率)結果顯示，額外 LED-W_{10W} 處理將明顯促進「綠孔雀粗勒草」、「巴黎美人粗勒草」及「黃金葛」之生長速率，分別達 17.5%、11.2%及 25.2%。「星光燦爛黛粉葉」在額外 ELB-W_{23W} 及 LED-W_{10W} 處理下，其生長速率分別達 10.1%及 6.4%。「極光粗肋草」在額外 LED-W_{10W} 及 LED-Y_{10W} 處理下，其生長速率則分別為 6.9%及 7.7%。「白鶴芋」以額外 ELB-W_{23W} 及 LED-Y_{10W} 處理時，其生長速率分別提高至 9.9%及 10.9%。在其他植物之試驗結果，亦顯示經特定波段光輻射處理將影響植物生長性狀，如「仙客來(*Cyclamen persicum*)」於紅光處理下花莖延長之促進效果高於白光處理者，而藍光則會抑制大豆的節間延長並縮小其葉面積(Heo *et al.* 2003, Dougher and Bugbee 2004)。由此可推知，本試驗參試之 6 種景觀植物存在對於特定光波段處理之敏感差異，這些差異性反應於不同光源/光波段處理之生長促進效果。

又為瞭解不同光環境下特定景觀植物之淨光合作用速率變化，並探討隨著光照處理週數增加是否影響淨光合作用速率，以及相較於室內螢光燈管，額外人工光源之光照強度增加是否具有促進淨光合作用速率效果，乃繪製試驗結果之柱狀及折線圖(Fig. 3)。由圖示之試驗結果，顯示此 6 種景觀植物於光照處理第 5 週之淨光合作用速率有升高現象，相較於第 2 週者其淨光合作用速率增加 1.5–3 倍。其中，「巴黎美人粗勒草」、「星光燦爛黛粉葉」及「白鶴芋」於 ELB-W_{23W} 處理下，淨光合作用速率可增加至 6–8 倍。另外，相較於室內螢光燈管之測值，在額外光照下 6 種景觀植物之淨光合作用速率增加約 1 倍左右，而「星光燦爛黛粉葉」於 ELB-W_{23W}、LED-W_{10W} 及 LED-Y_{10W} 處理下，其淨光合作用速率可增加約 3–4 倍。由此可知，隨著光照處理週數延長，參試景觀植物之淨光合作用速率有升高趨勢，而前 2 wk 期間多數景觀植物仍處於光環境適應狀態，進入第 3–5 週後植物多呈現穩定表現，因此第 5 週之淨光合作用速率會相較於第 2 週增加約 1.5–3 倍。

由於利用人工光源提高光照強度顯示具有促進光合作用效果，若景觀植物置於低光照之室內環境未有良好光合作用速率時，將無法表現出消耗二氧化碳(降低二氧化碳濃度)之類似淨化室內空氣品質之效果，此時可藉由外添光源提高光照強度予以改善。惟試驗結果亦顯示，不同景觀植物對不同波段光源具有不等反應，因此應當慎選合適光源才能達到預期效果。Di Benedetto and Cogliatti (1990)之研究報告指出，「細斑粗勒草(*Aglaonema commutatum*)」生長於低光環境(2.7 μmol m^{-2} s^{-1})下，其淨光合作用速率值為負值，隨著光強度增加則會提高光合作用速率，而照射混合型光源水銀燈之光合作用速率較高於螢光燈，且提高光照強度(20 μmol m^{-2} s^{-1})亦可增加地上部及地下部之乾物質量。本試驗初期乃固定人工光源與景觀植物距離(0.25 m)，後續一系列研究將進一步探討景觀植物於不同光強度下，其光合作用速率表現，期以找到最適光度值，以作為改善室內空氣品質及盆栽密度之參考。

綜合上述試驗結果，可歸納出特定景觀植物對於光強度的需求有所不同，反應於淨二氧化碳交換固定速率/淨光合作用速率及生長差異。因此，在選購室內景觀植物時，宜同時考量室內光強度及景觀植物特性來配合其他室內環境條件，以提高對室內二氧化碳的淨固定，另可增加適合特定波段的人工光源來提高光照強度，以促使該特定景觀植

Table 2. Effects of additional lighting treatments in Experiment II on plant height (cm) of the six selected ornamental plants.

Lighting treatment	Weeks from start of lighting treatment						Growth rate (%)
	0	1	2	3	4	5	
Aglaonema spp. var. 'Green peacock'							
CK	43.37±3.30[y]	43.93±3.19	44.12±3.13	44.31±3.27	44.47±3.21	44.61±3.16	2.9[z]
ELB-W_{23W}	42.69±4.64	43.43±4.79	44.49±4.51	44.63±4.75	44.77±4.61	44.96±4.51	5.3
ELB-Y_{23W}	42.95±1.77	43.65±1.77	43.98±1.75	44.24±1.61	44.48±1.61	43.75±2.56	1.9
LED-W_{10W}	37.88±3.45	39.39±3.44	41.80±3.51	43.49±3.84	44.09±3.63	44.50±3.27	17.5
LED-Y_{10W}	41.30±3.14	42.50±3.02	43.01±3.32	43.50±3.52	43.50±3.47	43.90±3.50	6.3
Aglaonema spp. var. 'Pattaya beauty'							
CK	41.14±2.31	41.37±2.21	42.02±2.36	42.05±2.30	42.24±2.45	42.53±2.48	3.4
ELB-W_{23W}	43.08±3.48	43.86±3.64	44.76±3.56	45.19±3.48	45.54±3.39	46.20±3.38	7.2
ELB-Y_{23W}	40.33±1.83	40.84±1.86	40.97±1.78	41.25±1.78	41.54±1.64	41.84±1.69	3.7
LED-W_{10W}	37.56±2.20	39.39±2.79	39.78±2.71	40.93±1.88	41.25±2.02	41.78±1.67	11.2
LED-Y_{10W}	43.95±2.79	45.34±3.29	45.95±3.32	46.56±3.51	47.93±2.47	48.29±2.75	9.9
Epipremnum aureum							
CK	27.85±3.92	28.85±3.47	29.48±3.37	29.83±3.41	30.00±3.69	30.35±3.99	9.0
ELB-W_{23W}	26.45±3.56	27.20±3.34	28.15±3.26	28.73±3.24	28.80±3.20	28.93±2.99	9.4
ELB-Y_{23W}	30.43±3.24	30.60±3.10	30.73±2.99	30.95±2.83	31.03±2.79	31.48±2.77	3.5
LED-W_{10W}	23.67±2.90	26.05±2.89	26.56±2.94	28.12±2.92	29.13±3.77	29.63±3.94	25.2
LED-Y_{10W}	25.48±3.31	26.70±2.89	27.23±2.60	27.28±2.48	28.13±2.78	28.38±2.98	11.4
Dieffenbachia spp. var. 'Sparkles'							
CK	31.22±2.24	32.62±1.95	33.07±1.93	32.57±2.26	32.63±2.21	31.66±3.21	1.4
ELB-W_{23W}	27.86±1.65	28.93±2.94	30.44±1.55	30.59±1.53	30.70±1.48	30.66±1.62	10.1
ELB-Y_{23W}	32.44±1.98	32.81±1.79	33.11±1.58	33.24±1.53	33.29±1.55	33.10±0.70	2.0
LED-W_{10W}	29.27±2.59	29.75±2.70	30.42±2.47	30.87±2.68	31.08±2.44	31.13±2.51	6.4
LED-Y_{10W}	31.59±0.63	31.94±0.80	32.24±0.78	32.49±1.00	32.53±1.02	32.85±1.38	4.0
Aglaonema spp. var. 'Siam Aurora'							
CK	34.85±2.16	35.74±1.81	36.14±1.86	36.13±1.93	34.94±2.48	36.34±1.96	4.3
ELB-W_{23W}	36.24±2.54	36.40±2.49	36.57±2.48	37.18±2.70	37.56±2.94	38.17±3.24	5.3
ELB-Y_{23W}	33.05±1.91	33.62±2.15	33.90±2.21	33.95±2.12	34.21±2.18	34.33±1.95	3.9
LED-W_{10W}	29.37±2.51	28.12±2.35	29.37±2.51	29.94±2.22	30.84±2.76	31.39±2.34	6.9
LED-Y_{10W}	34.81±2.05	36.49±1.73	36.83±1.76	36.92±2.06	37.29±1.63	37.48±1.65	7.7
Spathiphyllum floribundum							
CK	54.23±2.73	54.70±3.11	54.73±3.07	55.00±2.85	54.93±2.85	55.10±2.76	1.6
ELB-W_{23W}	49.17±4.01	50.07±2.73	51.43±2.74	52.63±2.05	52.70±2.08	54.03±2.20	9.9
ELB-Y_{23W}	53.00±2.48	54.48±2.58	55.58±2.83	55.58±2.83	55.78±2.85	53.60±2.10	1.1
LED-W_{10W}	48.88±1.11	49.05±1.42	49.03±0.82	52.68±3.72	52.80±3.77	50.03±1.43	2.4
LED-Y_{10W}	52.75±3.71	54.00±3.49	54.10±3.47	54.73±3.72	57.25±3.95	58.50±3.24	10.9

[z] Growth rate: [(plant height at the 5^{th} week – plant height at 0 week)/plant height at the 5^{th} week] ×100%.

物發揮其光合作用表現，藉由消耗二氧化碳濃度達到類似淨化室內空氣品質之效果與目的。由於研究亦指出揮發性氣體(如甲苯與甲醛)經由葉片氣孔吸收後，可經由植物光合作用之卡爾文循環(Calvin cycle)將其代謝成有機酸及胺基酸，因此若增加二氧化碳交換速率，將可能促進揮發性氣體之代謝速率，本系列研究將據此深入探討。

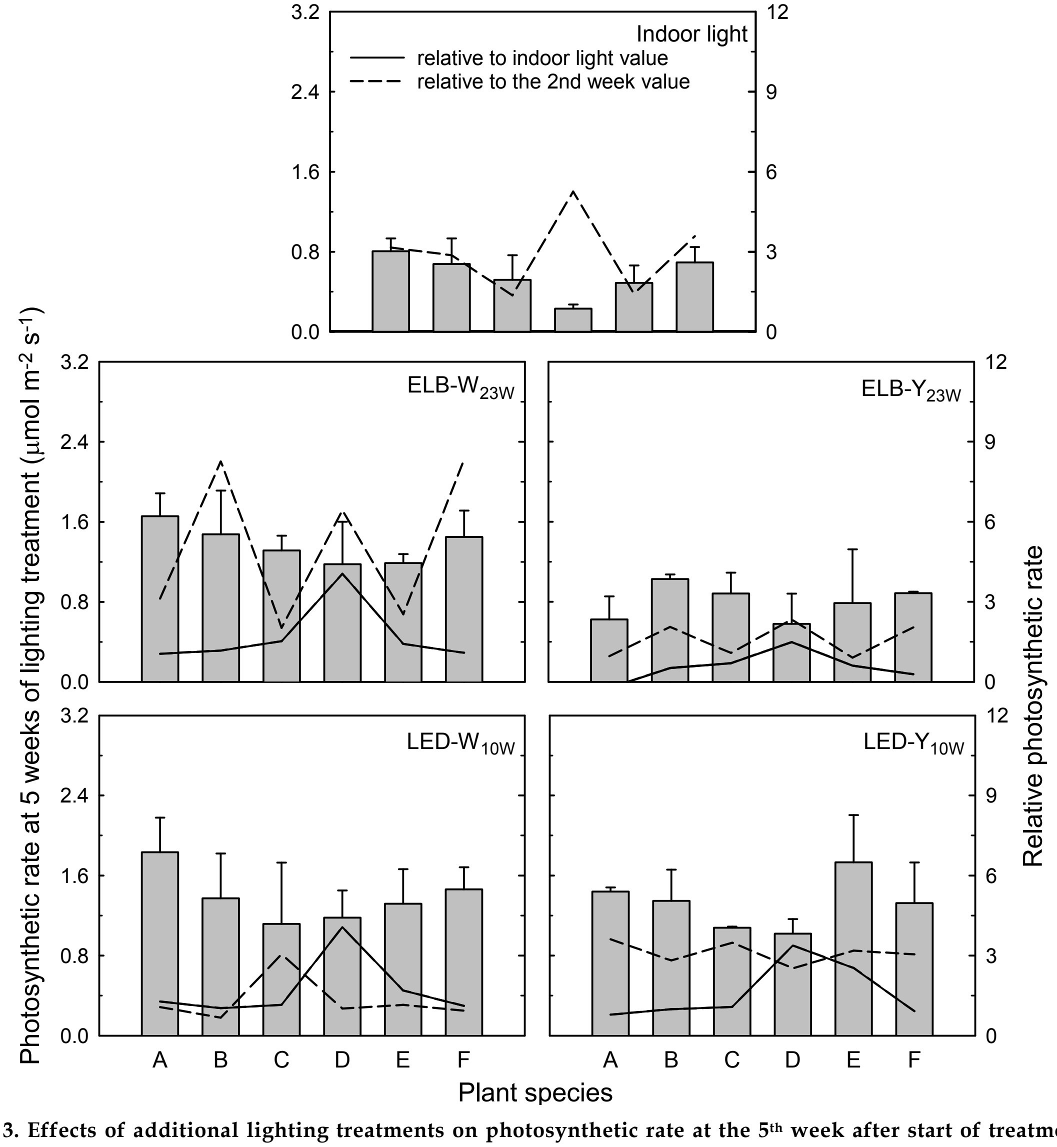

Fig 3. Effects of additional lighting treatments on photosynthetic rate at the 5th week after start of treatments for six selected ornamental plants grown under indoor light condition. CK: Indoor light with inflorescent lamps, 6.1±1.0 μmol m^{-2} s^{-1}; ELB-W$_{23W}$: 23 W white light energy-saving light bulb, 27.7±1.2 μmol m^{-2} s^{-1}; ELB-Y$_{23W}$: 23 W yellow light energy-saving light bulb, 23.7±1.3 μmol m^{-2} s^{-1}; LED-W$_{10W}$: 10 W white light LED, 27.8±0.7 μmol m^{-2} s^{-1}; LED-Y$_{10W}$: 10 W yellow light LED, 31.3±2.7 μmol m^{-2} s^{-1}. LED: light-emitting diode. Distance from light bulbs is 25 cm. A: *Aglaonema* spp. var. 'Green peacock'; B: *Aglaonema* spp. var. 'Pattaya beauty'; C: *Epipremnum aureum*; D: *Dieffenbachia* spp. var. 'Sparkles'; E: *Aglaonema* spp. var. 'Siam Aurora'; F: *Spathiphyllum floribundum*.

引用文獻

Collins CD, JNB Bell, C Crews (2000) Benzene accumulation in horticultural crops. **Chemosphere** 40:109–114.

Di Benedetto AH, DH Cogliatti (1990) Effects of light intensity and light quality on the obligate shade plant *Aglaonema commutatum*. II. Photosynthesis and dry-matter partitioning. **J. Hort. Sci.** 65:699–705.

Dougher TAO, B Bugbee (2004) Long-term blue light effects on the histology of lettuce and soybean leaves and stems. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 129:467–472.

Elkiey T, DP Ormrod (1980) Sorption of ozone and sulfur dioxide by Petunia leaves. **Environ. Exp. Bot.** 21:63–70.

EPA, USA (2007) An introduction to indoor air quality. United States Environmental Protection Agency. (visit on 07/15/2014) http://www.epa.gov/iaq/voc.html

EPA, Taiwan (2012) Standards of indoor air quality. Environmental Protection Administration, Executive Yuan, Taiwan ROC. (visit on 07/15/2014) http://iaq.epa.gov.tw/indoorair/page/12_1.aspx

Giese M, U Bauer-Doranth, C Langebartels, H Sandermann (1994) Detoxification of formaldehyde by the spider plant (*Chlorophytum comosum* L.) and by soybean (*Glycine max* L.) cellsuspension cultures. **Plant Physiol.** 104:1301–1309.

Giorgioni ME, U Neretti (2010) Effects of artificial light intensity and ambient CO_2 level on photosynthesis of Araceae species commonly used for interior landscaping. **Acta Hort.** 881:697–702.

Gordon SM, PJ Callahan, MG Nishioka, MC Brinkman, MK O'Rourke, MD Lebowitz, DJ Moschandreas (1999) Residential environment measurements in the National Human Exposure Assessment Survey (NHEXAS) pilot study in Arizona: preliminary results for pesticides and VOCs. **J. Exp. Anal. Environ. Epidemiol.** 9:456–470.

Hanson AD, S Roje (2001) One-carbon metabolism in higher plants. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.** 52:119–137.

Heo JW, CW Lee, HN Murthy, KY Paek (2003) Influence of light quality and photoperiod on flowering of Cyclamen persicum Mill. cv. 'Dixie White'. **Plant Growth Regul.** 40:7–10.

Hill AC (1971) Vegetation: A sink for atmospheric pollutants. **J. Air Pollut. Control Assoc.** 21:341–346.

Jagjit S (1996) Impact of indoor air pollution on health, comfort and productivity of the occupants. **Aerobiologia** 12:121–127.

Jen MS, AM Hoylman, NT Edwards, BT Walton (1995) Experimental method to measure gaseous uptake of ^{14}C-toluene by foliage. **Environ. Exp. Bot.** 35:389–398.

Jones AP (1999) Indoor air quailty and health. **Atmos. Environ.** 33:4535–4564.

Kim KJ, MJ Kil, JS Song, EH Yoo, KC Son, SJ Kays (2008) Efficiency of volatile formaldehyde removal by indoor plants: contribution of aerial plant parts versus the root zone. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 133:521–526.

Korte F, G Kvesitadze, D Ugrekhelidze, M Gordeziani, G Khatisashvili, O Buadze, G Zaalishvili, F Coulston (2000) Organic toxicants and plants. **Ecotoxicol. Environ. Saf.** 47:1–26.

Kostiainen R (1995) Volatile organic compounds in the indoor air of normal and sick houses. **Atmos. Environ.** 29:693–702.

Kull O, H Moldau (1994) Absorption of ozone on *Betula pendula* roth leaf surface. **Water Air Soil Pollut**. 75:79–86.

Leuning R, HH Neumann, GW Thurtell (1979) Ozone uptake by corn (*Zea mays* L.): a general approach. **Agric. Meteorol.** 20:115–135.

Lieth JH, Pasian CC (1990) A model for net photosynthesis of rose leaves as a function of photosynthetically active radiation, leaf temperature, and leaf age. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 115:486–491.

Orwell RL, RA Wood, MD Burchett, J Tarran, F Torpy (2006) The potted-plant microcosm substantially reduces indoor air VOC pollution: II. Laboratory study. **Water Air Soil Pollut.** 177:59–80.

Schmitz H, U Hilgers, M Weidner (2000) Assimilation and metabolism of formaldehyde by leaves appear unlikely to be of value for indoor air purification. **New Phytol.** 147:307–315.

Seppänen OA, WJ Fisk, MJ Mendell (1999) Association of ventilation rates and CO_2 concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings.

Indoor Air 9:226–252.

Shinohara N, A Mizukoshi, Y Yangisawa (2004) Indentification of responsible volatile chemicals that induce hypersensitive reactions to multiple chemical sensitivity patients. **J. Exp. Anal. Environ. Epidemiol.** 14:84–91.

Spengler JD, K Sexton (1983) Indoor air pollution: A public health perspective. **Sci.** 221:9–16.

Ugrekhelidze D, F Korte, G Kvesitadze (1997) Uptake and transformation of benzene and toluene by plant leaves. **Ecotoxicol. Environ. Saf.** 6:24–29.

Van Hove LWA, WJ Vredenberg, EH Adema (1990) The effect of wind velocity, air temperature and humidity on NH_3 and SO_2 transfer into bean leaves (*Phaseolus vulgaris* L.). **Atmos. Environ.** 24:1263–1270.

Wolkoff P (2003) Trends in Europe to reduce the indoor air pollution of VOCs. **Indoor Air** 13:5–11.

Wood RA, RL Orwell, J Tarran, F Torpy, M Burchett (2002) Potted-plant/growth media interactions and capacities for removal of volatiles from indoor air. **J. Hort. Sci. Biotechnol.** 77:120–129.

Yoo MH, YJ Kwon, K Son, SJ Kays (2006) Efficacy of indoor plants for the removal of single and mixed volatile organic pollutants and physiological effects of the volatiles on the plants. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 131:452–458.

Zhang L, C Steinmaus, DA Eastmond, XK Xin, MT Smith (2009) Formaldehyde exposure and leukemia: a new meta-analysis and potential mechanisms. **Mut. Res.** 681:150–168.

－編輯：高景輝